

중소형 열병합 발전용 SCR 장치의 유동 균일화를 위한 전산유체해석 최적화 연구

이상환, 신상우*[†], 김정섭*
한양대학교 기계공학부, *한양대학교 기계공학대학원

An Optimized Analysis of the Optimal Flow Uniformity in SCR Facility for Small- and Mid-Sized CHPs

Sang-Hwan Lee, Sang-Woo Shin*[†], Jung-Sub Kim*
School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
Course of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering,
Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received July 29, 2013; revision received August 20, 2013)

초 록 : 본 연구에서는 전산유체해석(CFD)을 통하여 SCR 탈질설비 내부의 유동장 흐름을 전산모사하였다. 또한 유동장의 균일도를 분석하기 위해 기존 설비에 대한 해석을 수행하였으며 이를 통해 문제점을 도출하고 개선하였다. 개선방안으로는 곡관에 guide vane을 설치하여 곡관상에 기류를 균일하게 안내해 주었으며, baffle을 설치하여 SCR설비로 초기 유입된 기류의 균일한 공간 분포를 도출하였다. 마지막으로 porous plate를 baffle 하단에 설치하여 균일류 형성의 최적화 모델을 도출하였다.

ABSTRACT : In this study, the internal flow field of SCR Denitrification Plant was simulated by using Computational Fluid Dynamics(CFD). In order to analyze the uniformity of flow field, an interpretation on the pre-existing facilities was performed, and some moot points were identified and compensated through this analysis. The compensatory methods include the installation of the Porous Plate below the bottom of the Baffle to create uniform flow and also, and the Guide Vane was also placed in the bend of pipe to guide the flow uniformly. Lastly, the Baffle was installed to deduct equalized space distribution of the air flow, initially flowed into the SCR Plant.

Key words : SCR(Selective Catalytic Reduction), CFD(Computational Fluid Dynamics), uniformity index(유동균일도)

1. 서 론

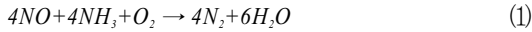
한국의 국내 중소형 열병합발전은 2007년 7월말 기준으로 146개소에 158,397 kW가 보급되어 있으며, 국내 총 발전용량(6,587만 kW)의 0.24% 수준에 불과하다. 2013년 까지 총 발전용량의 3.5% 수준인 270만 kW가 보급될 예

정이며 이는 원자력 발전 3기에 해당하는 수준으로, 보급 시 연간 약 8,000억 원의 에너지 비용이 절감되며 총 투자비는 약 8조 7,000억 원이 소요될 것으로 전망하고 있다.

그러나 중소형 열병합 발전설비는 LNG 또는 경유를 연소하기 때문에 질소산화물의 발생은 피할 수 없다. 더욱이 중소형 열병합 발전설비가 이용되는 곳이 아파트나 대형 병원 등 생활권과 인접하기 때문에 질소산화물의 유해성에 더욱 쉽게 노출될 수 있다. 이러한 질소산화물을 저감시킬 수 있는 가장 타당한 방법은 선택적 촉매환원(SCR: Selective Catalytic Reduction)이다. 질소산화물(NO_x)

[†] Corresponding author
2013 Korea Institute of Plant Engineering & Construction
E-mail address: todayclose@naver.com

제어 기술 중 연소 후 탈질기술에 속하는 선택적 촉매환원법은 촉매를 사용하여 질소산화물(NOx)을 환원하는 대표적인 배연탈질 기술로서 그 반응식은 식(1)과 같다.



환원제로 사용되는 물질은 암모니아인데, 화력발전소와 같은 대형 시설에서는 무수암모니아(anhydrous ammonia)를, 그 보다 작은 설비에서는 암모니아수(aqueous ammonia)나 요소수(urea solution)를 사용한다. 무수암모니아나 암모니아수는 암모니아 고유의 유독성이 있어, 도심지에서는 요소수를 사용하곤 한다. 따라서 중소형 열병합 발전설비용 SCR 설비에서는 요소수를 사용함이 바람직하다.

SCR 시스템에서 탈질 성능에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있다. 촉매의 종류나 형태, 촉매량, 유입가스의 온도, 유속분포 등을 포함하여 다양한 요소들이 있는데 특히 질소산화물을 탈질촉매와 반응시키기 위하여, 촉매 상류측에서 유량이 균일하게 분포되는 것은 반응기에서의 환원효율을 결정하는 중요한 요소가 된다. 더욱이 본 연구에서 다루는 중소형 열병합 발전용 탈질설비는 설치 공간이 비교적 작아 탈질시스템의 규모도 작아야 한다. 또한 작은 공간일수록 반응기 전단은 균일한 유동분포를 가져야 한다. 만일 SCR 촉매에서 배가스의 유속, 압력 등 유동분포가 균일하지 않다면, 탈질촉매에서의 질소산화물 제거효율도 균일하지 않아 전체적인 탈질효율이 낮아지게

된다. 따라서 균일한 유동분포가 반드시 필요하다. 이를 위하여 SCR 반응기의 입구 부분에 guide vane이나 baffle 등을 설치하여 균일한 유동분포를 도모한다. 그런데, 이러한 장치는 설치 후에 수정이 매우 어렵기 때문에 정확한 설계가 필요하며, 이를 위하여 전산유체해석을 실시하고 있다. 본 연구에서는 중소형 열병합 발전용 SCR 반응기에서 덕트로부터 유입되는 기류의 분포를 균일하게 하기 위한 guide vane, baffle 그리고 porous plate의 영향들을 전산유체해석을 통하여 compact한 SCR 설비의 설계 및 구축을 추구하고자 한다.

2. 적용설비 및 유동조건 해석

본 연구에 활용된 SCR 시스템은 380 kW 가스엔진에서 발생하는 질소산화물을 제거할 수 있다. 가스엔진은 biogas(주로 CH₄)를 연소하며, 발생하는 질소산화물의 농도는 250 ppm이다. 최대 부하에서 배가스 유량은 1,642 Nm³/hr이고, 배가스의 온도는 425℃이다. 질소산화물을 제거하기 위하여 주입되는 요소수의 농도는 40%이며, 시간당 0.78 liter가 주입된다. Fig. 1은 기존의 SCR 시스템 형상을 나타낸 것이다. 가스엔진에서 토출된 배가스는 덕트를 통해 SCR 반응기로 유입된다. 요소수는 요소수 주입노즐을 통해 덕트로 주입되며, 덕트의 직경은 350 mm이다. SCR 반응기는 979 mm x 979 mm 사각 형태이며, 촉매는 3 layer로 설치된다. 요소수 주입노즐로부터 1st layer 촉매까지의 거리는 약 4.8 m이고 SCR 반응기 유입

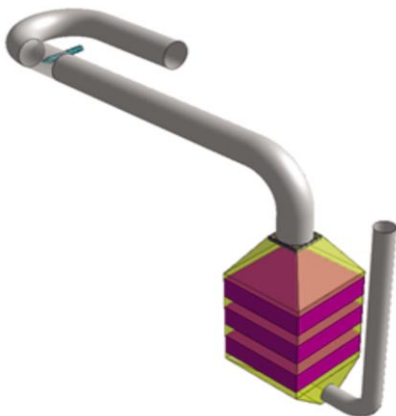


Fig. 1 3D modeling

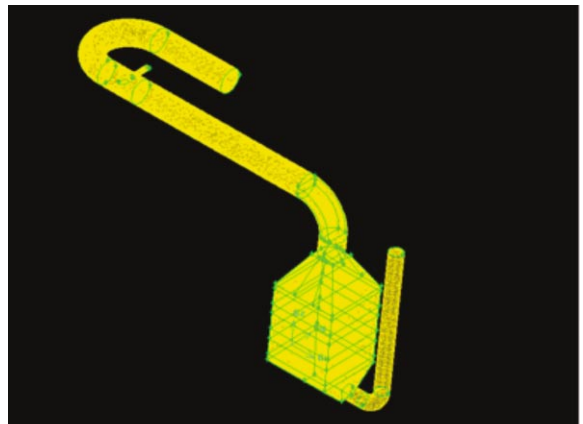


Fig. 2 Mesh configuration of SCR system

부는 환관으로 구성되어 있으며 환관의 높이는 500 mm 이다. 환관이 시작되는 부분에는 유체의 흐름을 균일하게 하기 위한 equalizer가 설치되어 있고 배기가스는 SCR 반응기 상부로 유입되어 하부에서 배출된다.

장입되어 있는 탈질촉매는 corrugate형 촉매이다. 또한 환원제 주입노즐은 이류체 노즐이다. 압축공기의 압력은 3 kg/cm²이며, 압축공기의 유량은 4.2 m³/hr이다.

본 연구에서는 실제 형상에 대한 CAD data를 토대로 Fig. 2와 같이 상용 프로그램인 GAMBIT으로 모델링을 진행한 후 격자를 생성하였다. 연구에 사용된 전체 격자수

는 약 264,703개이고 CFD 해석 시 외부 온도는 40°C로 설정하였다.

3. SCR 반응기 및 덕트에서의 유동장 분포

기존 설비에 대한 해석을 위해 어떠한 guide vane이나 baffle이 없는 조건에서 SCR 반응기 및 덕트에서의 유체 특성에 대한 전산유체해석을 실시하였다.

유선장(path line)은 Fig. 3과 같다. flow guide를 지난 기류가 편류와 함께 강한 직전성을 가지고 촉매층에 도달

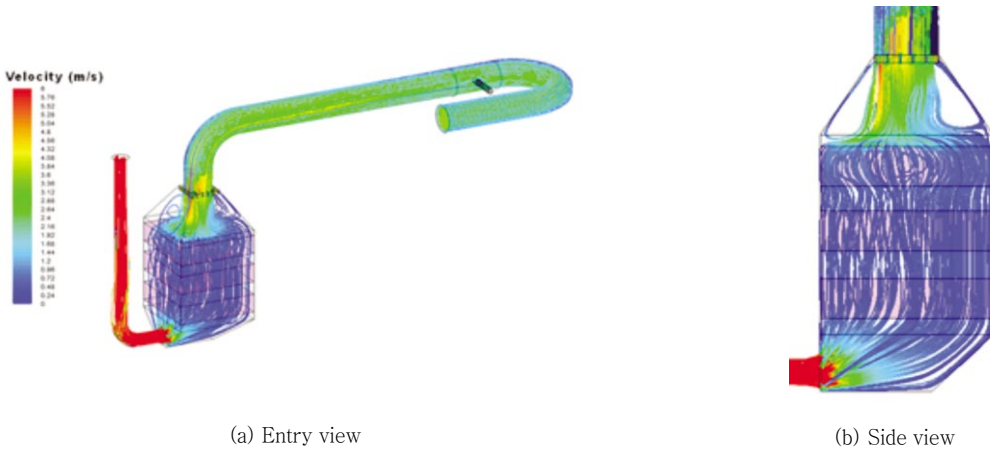


Fig. 3 Path line in SCR reactor

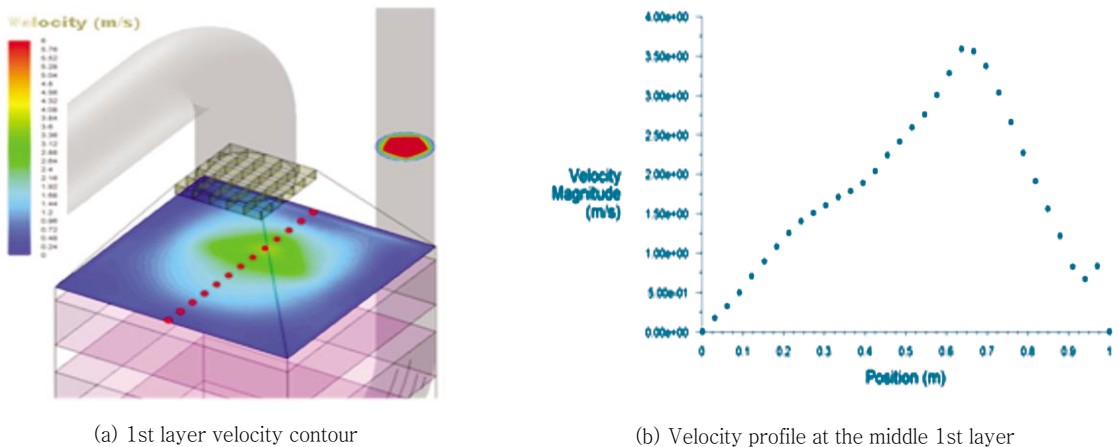
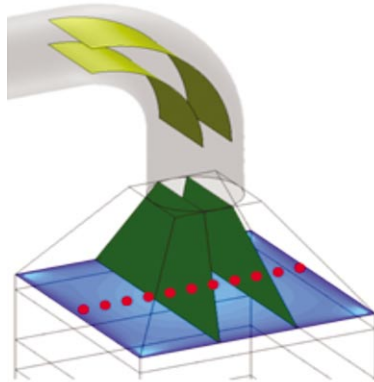
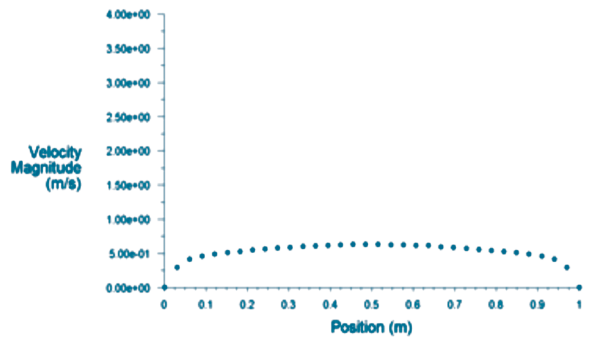


Fig. 4 Velocity profile at 1st layer in SCR reactor



(a) Installation (guide vane, baffle, porous plate)



(b) Velocity profile at the middle 1st layer

Fig. 5 Velocity magnitude plotting

하는 형태이므로 확관 구간에 사영역(dead-zone)이 발생하고 있으며, 곡관 바깥쪽에 편중된 기류가 촉매층에 도달한 후 확산되는 형태이므로 촉매층에서의 기류 균일도가 매우 불량하게 나타난다. 따라서 기존에 설치되어 있는 유체의 흐름을 균일하게 유지하기 위한 equalizer는 큰 효과가 없는 것으로 나타난다.

촉매층 상단에서의 유속은 약 0.5 m/s에서 3.6 m/s이다. 유입 덕트가 사각 반응기의 정 중앙 상부에 위치하지만, 유속분포는 정규분포 곡선을 나타내지 않는다.(Fig. 4) 즉 한쪽으로 편중되는 현상이 나타나는데, 이는 덕트 곡관에서의 불균일한 유속분포로 인한 것이다.

4. 균일류 형성을 위한 설비

equalizer 외에 다른 보조설비 없이 배기가스가 유입될 때의 유동장은 매우 불량하다. 이는 촉매가 단위 부피당 처리할 수 있는 배가스의 양이 다름을 의미하고, 이에 따라 질소산화물의 제거 성능도 위치마다 다르게 나타나게 된다. 따라서 지금부터는 porous plate, guide vane 그리고 baffle을 적용하였을 때 유동장의 변화를 전산유체해석을 통해 확인해보도록 한다.

유동장의 균일류를 형성시키기 위해 본 연구에서는 Fig. 5(a)와 같이 flue gas inlet 구조에 따른 guide vane, baffle, porous plate의 설치를 고려하였다. guide vane은 초기 기류 유입 형상과 균일류 형성에 있어서 가장 중요

한 조건이다. 본 연구에 사용된 시스템 구조는 반응기 인입 전 상단에 곡관이 있으므로 곡관상에 기류를 안내해 줄 수 있는 guide vane의 설치를 고려하였다. 또한 baffle은 장치 내부에 초기 유입된 기류의 균일한 공간 분포를 유도하기 때문에 적절한 기류 배분을 추가적으로 도출하기 위해 배치하였으며, porous plate는 차압증가를 최소화하면서 porosity, thickness에 따른 균일류 형성을 고려하였다. 결과적으로 이 같은 균일류 형성 방안들을 모두 속도장 결과는 Fig. 5(b)와 같이 촉매 전단의 유속분포가 고르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

중소형 열병합 발전용 SCR 설비에서 SCR 촉매에 도달하는 배기가스를 균일화하기 위하여 guide vane, baffle 그리고 porous plate을 적용하였고, 이에 대한 전산유체해석을 실시하였다.

최적화 수치 시뮬레이션을 구현하기 위해 기존 설비에 대한 유동장 시뮬레이션을 선 수행하고, 그에 따른 구조적 문제점을 파악하였다. 문제점 파악 결과 촉매층 상단 유입 기류의 유속분포 편차가 매우 큰 상태로 유입되고 있는 것을 확인할 수 있었고, 촉매층에 도달하는 기류의 균일도는 매우 불량한 것으로 나타났다.

이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 균일류 방안들을 적용하여 시뮬레이션을 진행하였고, 그 결과 촉매층 상단

단면의 속도 분포가 일정한 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. H. Weltens, H. Bressler, F. Terres, H. Neumaier, and D. Rammoser, 1993, Optimazation of Catalytic Converter Gas Flow Distribution by CFD prediction, SAE Technical Paper, 930780.
2. GAMBIT 2.2 User's Guide, 2004.
3. FLUENT 6.2 User's Guide, 2005.
4. Bell, A. T., Manzer, L. E., 1995, Protecting the Environment Through Catalysis, Chemical Engineering Reviews 95, no.1, pp.209-225.
5. J. J. Rogers, P. S. Nolan, 2001, SCR Reactor performance profiling and results analysis, The U. S. EPA/DOE/EPRI Combined Power Plant air Pollutant control symposium : The Mega symposium.
6. K. J. Rogers, M. Albrecht, M. Varner, 2000, Numerical Modeling for Design Optimization of SCR Applications, ICAC NOx Forum 2000, Washington D. C..
7. Box, G. E. P. and Wilson, K. B., 1951, On the Experimental Attainment of Optimum Conditions(with discussion), Jouran of the Royal Statistical Society Series B13(1), pp.1-45.
8. George Box, Donald Behnken, 1960, Some now three level designs for the study of quantitative variables, Technometrics, Vol.2, pp.455-475.
9. Patankar, S. V., 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation, Washington D. C..
10. Wendland, D. W., Sorrell, P. L. and Kreucher, J. E., 1991, Sources of Monolith Catalytic Converter Pressure Loss, SAE, 912372.
11. Ahmad, S., Linnhoff, B., Smith, R., 1990, Cost Optimum Heat Exchanger Networks II Targets and Design for Detailed Capital Cost Models, Computers and Chemical Engineering, Vol.7, No.5, pp.751-762.
12. Smith, R., 2005, Chemical Process Design and Integration, Wiley, West Sussex, pp.160-181.